

ВЛИЯНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ДИСПЕРСИИ НА ИЗМЕНЕНИЕ ФАЗЫ ОТРАЖЕННОГО СВЕТА

В КРИСТАЛЛАХ CdS И CdSe

Л.Е.Соловьев, А.В.Бабинский

Проведен анализ изменения фазы при отражении света от монокристаллов CdS и CdSe на основе теории пространственной дисперсии с учетом затухания и поверхностного слоя. Экспериментально обнаружено сосуществование нормальных волн светового и экситонного типов.

В последнее время появилось несколько сообщений, демонстрирующих важную роль пространственной дисперсии в экситонной области. Такого рода наблюдения сделаны при исследовании интерференционных картин в тонких кристаллических пластинках [1, 2], в спектрах отражения [3, 4] и поглощения [5] кристаллов. Очевидно, что полную информацию об оптических свойствах веществ можно получить лишь при комплексном исследовании. В частности, при изучении спектров отражения необходимо знать соответствующие фазовые характеристики.

Данное сообщение посвящено исследованию спектральной зависимости изменения фазы при отражении света от монокристаллов сульфида и селенида кадмия. Выбор объектов связан с необходимостью использования ряда констант для расчета фазовых характеристик. Наибольшее внимание уделено полностью поляризованным головным линиям экситонных серий А. При этом лишь одна компонента поляризованного света испытывает изменение фазы, зависящее от частоты света. Интерферограммы получены для различных углов падения света в интервале температуры от 4,2 до 77К. Анализ эллиптичности отраженного

света осуществлялся при помощи компенсатора Бабины, вносящего линейную по высоте щели спектрографа разность фаз. Спектр регистрировался фотографически. Сдвиг фазы определялся по смещению интерференционных полос. Расстояние между соседними полосами соответствует сдвигу фаз $\delta = 2\pi$.

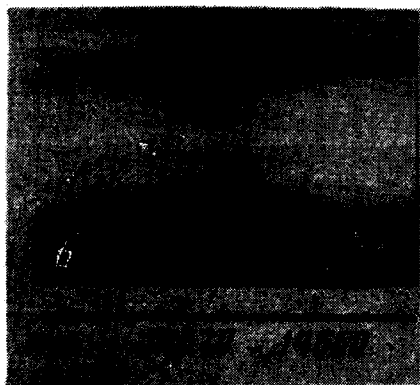
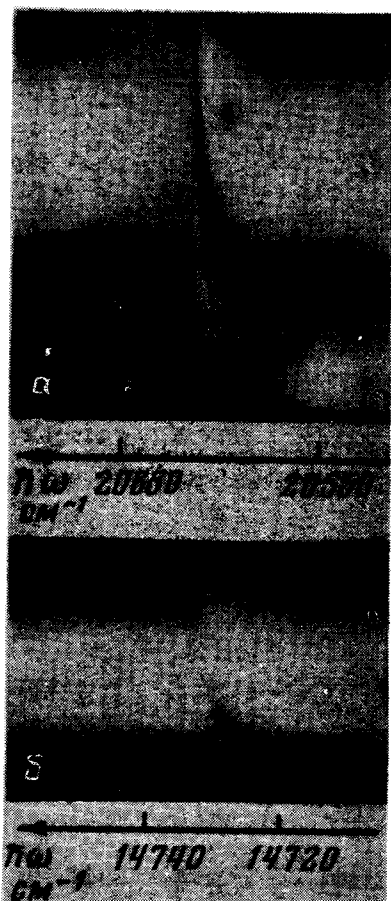


Рис. 1. Интерферограммы, полученные при нормальном падении света: а - CdS, $T = 4,2\text{K}$, б - CdSe, $T = 4,2\text{K}$, в - CdSe, $T = 77\text{K}$

Для полученных интерферограмм (рис. 1) свойственны следующие существенные особенности: а) фаза отраженного света монотонно возрастает с длинноволновой стороны, проходя через резонанс ω_T ; б) в отличие от классического поведения, фаза изменяется не до π , а до 2π ; в) при достаточно высоких температурах кристалла на интерферограммах наблюдаются одновременно две картины, одна из которых анологична низкотемпературной и убывает по интенсивности по мере повышения температуры, а другая демонстрирует область аномального поведения фазы (рис. 1, в). Аналогичная картина наблюдается и при низких температурах для высокоэнергетических экситонных состояний.

Обсуждение результатов

Объяснение наблюдаемых спектров может быть получено лишь с привлечением представлений о пространственной дисперсии в экситонной области. Согласно Пекару [6] коэффициенты преломления могут быть записаны в виде

$$n_{\pm}^2 = \frac{1}{2} \left\{ \left[\epsilon + \frac{2mc^2}{\hbar\omega_T^2} (\omega - \omega_T) \right] \pm \left[\left(\epsilon - \frac{2mc^2}{\hbar\omega_T^2} (\omega - \omega_T) \right)^2 + \frac{8mc^2}{\hbar\omega_T^2} \epsilon \omega_{LT} \right]^{1/2} \right\}, \quad (1)$$

где: m – масса экситона, ϵ – фоновая диэлектрическая постоянная, $\hbar\omega_T$ – энергия поперечного экситона, ω_{LT} – продольно-поперечное расщепление. Аналогично [7] при теоретическом рассмотрении изменения фазы необходимо учесть относительный вклад волн типа n_+ и n_- :

$$\tilde{n}^* = \frac{n_+}{1-q} + \frac{n_-}{1-1/q}; \quad \tilde{n}^* \equiv n^* + l\kappa^*, \quad \text{где } q = \frac{\epsilon - n_+^2}{\epsilon - n_-^2}. \quad (2)$$

Используя обобщенное уравнение Френеля для отражения света

$$r = \frac{R}{A} = \frac{\tilde{n}^* - 1}{\tilde{n}^* + 1}, \quad (3)$$

где R – отраженная волна, A – падающая волна, получим уравнение для сдвига фазы δ света при отражении:

$$\text{tg } \delta = \frac{2\kappa^*}{n^{*2} + \kappa^{*2} - 1}. \quad (4)$$

Подставив в (4) значения экситонных констант из работ [1, 5], получим кривую, изображенную на рис. 2, а. Максимальное значение $\delta = \pi$, что находится в противоречии с экспериментальным значением 2π . Для объяснения истинного поведения разности фаз в окрестности ω_L необходимо ввести в рассмотрение поверхностный слой, обедненный экситонами [8]. Изменение фазы при отражении с учетом слоя можно оценить по формуле

$$\text{tg } \delta = \frac{r_{23}(1 - r_{12}^2) \sin 2\beta}{r_{12}(1 + r_{23}^2) + r_{23}(1 + r_{12}^2) \cos 2\beta}, \quad (5)$$

где индекс 1 соответствует волне в вакууме, 2 – в слое, 3 – в кристалле; 2β – набег фазы при двукратном прохождении слоя. Формула (5) может быть обобщена для случая произвольных углов падения света. Результаты обработки экспериментальных данных представлены на рис. 2, причем для селенида кадмия оказалось необходимым ввести в (1) затухание светоекситонной волны. Различие картин вблизи ω_L для сульфида и селенида кадмия объясняется различным качеством поверхности кристаллов, что проявляется также в обычных спектрах отражения.

Весьма интересной особенностью обладают фазовые интерферограммы при углах падения, соответствующих углу Брюстера для чисто световых волн в спектральной области $\omega > \omega_L$. При этом фаза от $\sim \pi$ монотонно падает до нуля, как это изображено пунктиром на рис. 2, б, что указывает на участие в отражении лишь волны светозекситонного типа. При отклонении от угла Брюстера в любую сторону интерферограммы в этой спектральной области имеют обычный вид горизонтальных полос.

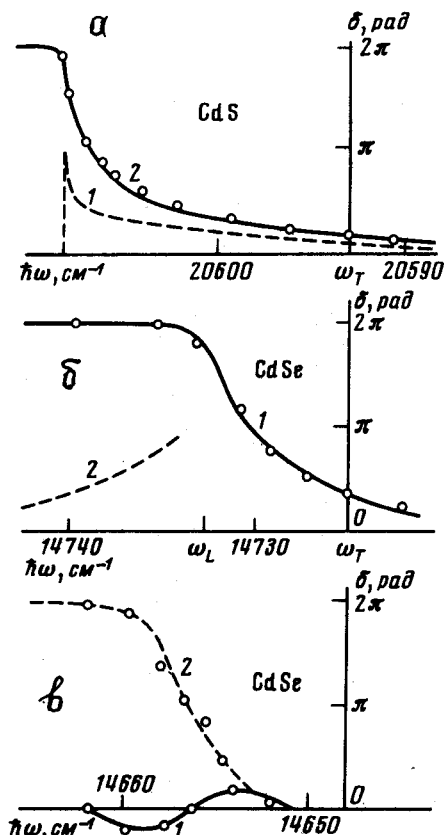


Рис. 2. а - CdS: 1 - теоретическая кривая $\delta = \delta(\omega)$ без учета поверхностного слоя, 2 - с учетом слоя толщиной $l = 80 \text{ \AA}$; затухание $\hbar\Gamma = 0$; б - CdSe: 1 - $l = 50 \text{ \AA}$, $\hbar\Gamma = 0,4 \text{ см}^{-1}$; 2 - поведение $\delta = \delta(\omega)$ при угле падения $\alpha = 70^\circ$; в - CdSe: $T = 77 \text{ K}$. Кружки соответствуют экспериментальным данным рис. 1

Интерферограммы, полученные при относительно высоких температурах кристаллов, по-видимому, могут быть объяснены на основе теории Давыдова и Мясникова [9], как результат проявления волн светового и экситонного типов. При температурах кристаллов выше 77K наблюдается лишь одна кривая изменения фазы (рис. 2, в, кривая 1). Для высокоэнергетических экситонов это явление наблюдается при более низких температурах кристаллов.

Ленинградский
государственный университет
им. А.А.Жданова

Поступила в редакцию
3 февраля 1976 г.

Литература

- [1] В.А.Киселев, Б.С.Разбирин, И.Н.Уральцев. Письма в ЖЭТФ, 18, 504, 1973.

- [2] М.С.Бродин, Н.А.Давыдова, М.И.Страшникова. Письма в ЖЭТФ, 19, 567, 1974.
- [3] С.А.Пермогоров, В.В.Травников, А.В.Селькин, ФТТ, 14, 3646, 1972; 15, 1822, 1973.
- [4] М.И.Страшникова. ФТТ, 17, 729, 1975.
- [5] J. Voigt. Phys. Stat. Sol. (b) 64, 549, 1974; Ф.И.Крейнгольд, В.Л.Макаров. Письма в ЖЭТФ, 20, 441, 1974.
- [6] С.И.Пекар. ЖЭТФ, 34, 1176, 1958.
- [7] В.С.Машкевич, М.И.Страшникова. Труды комиссии по спектроскопии АН СССР, 3, 448, 1964.
- [8] J.J.Hopfield, D.G.Thomas. Phys. Rev., 132, 563, 1963.
- [9] A.C.Davidov, E.N.Myasnikov. Phys. Stat. Sol. (b) 63, 325, 1974.
-